

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 30 37 648 A 1**

⑤① Int. Cl. 3:
H 02 K 37/00

②① Aktenzeichen:

P 30 37 648.8-32

②② Anmeldetag:

4. 10. 80

④③ Offenlegungstag:

30. 4. 81

Gründungsamt

③④ Unionspriorität: ③② ③③ ③①
17.10.79 DD WP216266

⑦② Erfinder:

Furchert, Hans-Jürgen, Dr., DDR 6300 Ilmenau, DD

⑦① Anmelder:

Jenoptik Jena GmbH, DDR 6900 Jena, DD

⑤④ **Zweikoordinatenschrittmotor**

DE 30 37 648 A 1

DE 30 37 648 A 1

Patentansprüche

1. Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem Spulen oder Dauermagnete in einem beweglichen Teil angeordnet sind, das gleit-, wälz-, fluid- oder durch Magnetschwebung in einer Ebene gelagert ist, das seinerseits über festen Magneten oder Spulen angeordnet ist und an dem Rasterplatten, Interferometerspiegel oder andere inkrementelle Geberplatten senkrecht zueinander zur inkrementellen Signalgewinnung und Lageregelung befestigt sind, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Bewegungskordinate (x, y) des Zweikoordinatenschrittmotors mindestens zwei entgegengesetzt polarisierte Dauermagneten (2) auf einer ferromagnetischen Grundplatte (1) und jeweils über den entgegengesetzt polarisierten Dauermagneten (2) ein ferromagnetisches Rückschlußteil (3) angeordnet ist, daß sich in dem Luftspalt zwischen Dauermagneten (2) und Rückschlußteil (3) für jede Bewegungskordinate (x, y) mindestens eine rechteckige Spule (4) mit weit über die Magnetpolbreite (b_{MP}) ragenden Spulenköpfen der minimalen Länge ($l_{s \text{ Min } 1}$) in einem als Tischplatte (6) ausgebildeten Teil mit den kraftwirksamen Spulensträngen der Tischmitte zugewandt befinden, daß in dieser Tischplatte (6) neben den der Tischmitte zugewandten Spulensträngen Aussparungen mindestens in der Größe von Verfahrweg und Querschnitt des Rückschlußteils (3) und in der Tischmitte ein Objektträgerteil (7) aus strahlungsdurchlässigem Werkstoff, z. B. Glas, vorgesehen sind.
2. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß entgegengesetzt polarisierte Paare von Dauermagneten (2) auf einem ferromagnetischen Teilstück der Grundplatte (1), angeordnet sind.

130018/0681

3. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Bewegungskordinate (x, y) in einer Tischplatte (13) mindestens zwei rechteckige Spulen (4) in mindestens zwei parallelen Kraftwirkungslinien mit den kraftwirksamen Spulensträngen der Tischmitte zugewandt über mindestens zwei entgegengesetzt polarisierten Paaren von Dauermagneten (2) angeordnet sind.
4. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die rechteckigen Spulen (4) so angeordnet sind, daß die nichtkraftwirksamen Spulenköpfe der Tischmitte zugewandt sind.
5. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens drei rechteckige Spulen (4) mit ihren zugehörigen Paaren von Dauermagneten (2) unter einem Winkel, vorzugsweise 120° , mit den nichtkraftwirksamen Spulenköpfen der Tischmitte zugewandt, angeordnet sind.
6. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1, 2 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß die rechteckigen Spulen (4) so angeordnet sind, daß die kraftwirksamen Spulenstränge der Tischmitte zugewandt sind.
7. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Koordinatenrichtung (x, y) mindestens ein Gleichstrommagnet, bestehend aus Spule (26) und Kern (25), auf einer nichtmagnetisierbaren Grundplatte (24) angeordnet ist, wobei sich in den Luftspalten der Gleichstrommagneten (25, 26) eine in einer beweglichen Tischplatte (27) befestigte rechteckige Spule (28) der minimalen äußeren Kantenlänge ($l_{s\alpha 1}$) befindet.

8. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß für jede Bewegungskordinate (x, y) mindestens zwei Gleichstrommagnete, bestehend aus Spule (26) und Kern (25), in mindestens zwei parallelen Kraftwirkungslinien angeordnet sind.
9. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß drei Gleichstrommagnete, bestehend aus Spule (26) und Kern (25), unter einem Winkel, vorzugsweise von 120° , angeordnet sind, in deren Luftspalten sich eine Spule in Form eines nichtgleichseitigen Sechsecks mit der minimalen Länge der äußeren kraftwirksamen Spulenstränge ($l_{s\alpha 3}$) befindet.
10. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Bewegungskordinate (x, y) eine Spule (17) vorhanden ist, deren kraftwirksame Spulenstränge Krümmungsradien besitzen, die jeweils durch den Abstand von der Tischplattenmitte zur Spulenlage bestimmt sind und wobei die Tischplattenmitte mit dem Tischplattenschwerpunkt identisch ist.
11. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1, 2 und 10, dadurch gekennzeichnet, daß in jeder Bewegungskordinate (x, y) mindestens zwei gekrümmte Spulen (17) vorgesehen sind.
12. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1, 2, 10 und 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Form der kraftwirksamen Spulenstränge polygonartig dem Radius des Abstandes der Spulenlagen von der Tischmitte angepaßt sind.
13. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine kreisförmige Spule (34) in der Tischplattenmitte angeordnet ist.

130018/0681

14. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß in einer kreuzförmigen Tischplatte (30) der minimalen Stegbreite $b_{ST} \geq 2 b_{DF}$ mindestens zwei entgegengesetzt polarisierte Dauermagnete (2) in jeder Bewegungskordinate (x, y) angeordnet sind und rechteckige Spulen (4) mit der minimalen Länge ($l_{s \text{ Min } 2}$) fest mit einer ferromagnetischen Grundplatte (38) verbunden sind und daß ein über die gesamte Magnetpolfläche, Teile der Tischplattenfläche und dem vorgesehenen Verfahrensweg (V_s) ragender, zwei besondere Flußleitstücke (44) und in der Mitte eine Aussparung besitzender Rückschlußdeckel (42) vorhanden ist, an dessen Unterseite eine Kunststoffschicht (41), beispielsweise PTFE, und an dessen Oberseite die Zuführungen für die Druckluft (43) sowie im Rückschlußdeckel (42) um die Zuführungen der Druckluft (43) Verteilungskanäle für die Druckluft vorhanden sind.
15. Zweikoordinatenschrittmotor nach Anspruch 1, 2 und 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Rückschlußdeckel (46) mit besonderen Gleitflächen an der Unterseite versehen ist.

130018/0681

Zweikoordinatenschrittmotor

Die Erfindung betrifft einen Zweikoordinatenschrittmotor, insbesondere für die schnelle und genaue Positionierung räumlicher und flächenhafter Objekte in der Gerätetechnik für die Ortsstrukturerkennung bzw. -veränderung. Derartige Antriebe sind besonders für den Anschluß an digitale Signale erzeugende elektronische Systeme geeignet.

Es ist bekannt, daß Zweikoordinatenbewegungseinrichtungen existieren, bei denen Kreuzzische durch rotatorisch arbeitende Schrittmotore über eine Mutter-Spindel-Paarung mittels längsbeweglicher Kardanwellen, über Seilzüge speziell in xy-Schreibern oder direkt über eine federgekoppelte spielfreie und querverschiebbare Anlenkung angetrieben werden. Als Antrieb werden auch kontinuierlich arbeitende Rotationsmotore mit Kupplungen und Bremsvorrichtungen in Verbindung mit inkrementellen Gebern und Regeleinrichtungen verwendet. Auch Linearmotore werden für den Antrieb von Kreuzzischen verwendet.

Kreuzzische besitzen jedoch eine große Masse für die Bewegungseinrichtung in der zweiten Koordinate, wenn eine hohe Positioniergenauigkeit notwendig ist, und sie haben deshalb ein ungünstiges dynamisches Verhalten.

130018/0681

In der DD-PS 129 948 ist eine Anordnung beschrieben, bei der sich zwischen einem ersten und einem zweiten Teil, zwischen denen sich ein magnetischer Fluß schließt, ein drittes Teil befindet, daß so angeordnet ist, daß zwischen ihm und mindestens einem der ersten beiden Teile eine Relativbewegung möglich ist. Für eine Schrittbewegung in mehreren Koordinatenrichtungen sind Leiterbahnen und Zähne für die Bewegung entlang der einzelnen Koordinaten so angeordnet, daß sich immer eine ausreichende Leiterlänge jeder ineinander kreuzungsfrei verschachtelten Leiterbahnen im zugehörigen Magnetfeld befindet.

Die in den Figuren 3a bis 3d dargestellten Prinzipien zeigen die Anordnung von Zähnen und Leitern zueinander und machen drei wesentliche Nachteile deutlich, die in einer sehr geringen erzeugten Kraft bei kleinen Schrittgrößen infolge der geringen zulässigen Strombelastung dünner Leiterzüge, der nur möglichen relativ großen Schrittweite infolge der technologisch begrenzten Herstellbarkeit kleinster Zahnbreiten und der bei feinen Zahnteilungen und Leiterbahnen infolge geringer Intensitätsunterschiede bedingten geringen Schrittgenauigkeit, insbesondere bei wirkenden Gegenkräften.

Ziel der Erfindung ist es, einen Zweikoordinatenschrittmotor zu schaffen, mit dem sich drehmomentenfreie, drehmomentenkompensierbare und Drehmomente erzeugende Kräfte an einer Tischplatte auch für kleinste Schrittweiten unter $1\mu\text{m}$ realisieren lassen, der sich durch geringe Masse und große Kräfte und damit gute Dynamik und geringen Herstellungsaufwand auszeichnet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Zweikoordinatenschrittmotor zu schaffen, der ein günstiges dynamisches Verhalten besitzt und auch kleinste Schrittweiten bis unter $1\mu\text{m}$ ermöglicht.

130018/0681

Die Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, daß in bekannter Weise eine oder mehrere in einer beweglichen Tischplatte befestigte Spulenanordnungen bestimmter Abmessungen in den Luftspalten von Magnetsystemen angeordnet sind. Bei Stromfluß in den Spulen wird dann aufgrund der Kraftwirkung der Magnetfelder auf bewegte Ladungen eine Kraft auf die Tischplatte ausgeübt. Die Stromzuführung erfolgt über Schleppkabel. Für die Bewegung der Tischplatte in zwei Koordinaten x, y werden jeweils zwei entgegengesetzt polarisierte Dauermagneten für jede Koordinate in einer Reihe auf einer ferromagnetischen Grundplatte oder einem ferromagnetischen Teilstück der Grundplatte angeordnet. Die minimale Länge der einzelnen Magnetpolflächen l_{MP} ist durch die Größe des vorgesehenen Verfahrensweges S_v in dieser Koordinate und der benutzten Spulenstrangbreite b_s nach der Beziehung

$$l_{MP} = S_v + b_s$$

festgelegt. Die Magnetpolbreite b_{MP} , die Magnethöhe h_M und die Luftspalthöhe h_L wird entsprechend der notwendigen mit einem bestimmten Strom durchflossenen Leiterlänge, die sich für eine bestimmte Kraft im Bereich einer bestimmten magnetischen Induktion befinden muß, nach der bekannten Beziehung $F = B \cdot l \cdot I$ gewählt. Auf der ferromagnetischen Grundplatte bzw. dem ferromagnetischen Teilstück der Grundplatte ist über jedem Dauermagnetpaar entgegengesetzter Polarität ein ferromagnetisches Rückschlußteil angeordnet. In den Luftspalten zwischen den Dauermagnetpaaren und den ferromagnetischen Rückschlüssen befinden sich die in der beweglichen Tischplatte befestigten rechteckigen Spulen mit weit über die Magnete ragenden Spulenköpfen. Die minimale Länge der Spulenköpfe $l_{s \text{ Min } 1}$ wird durch die Größe des halben Verfahrensweges $\frac{S_{v1}}{2}$ der zur Kraftwirkungsrichtung der betreffenden Spulenstränge senkrechten Koordinate, der Spulenstrangbreite b_s und der Größe der inneren Spulenkopfradien r_s nach der Beziehung

$$l_{s \text{ Min } 1} \geq \frac{S_{v1}}{2} + b_s + r_s \text{ bestimmt.}$$

Die Spulen sind in bekannter Weise in einer nichtmagnetisierbaren beweglichen kreuzförmigen Tischplatte befestigt, die mit

130018/0681

Gleitfüßen versehen ist und Aussparungen neben den der Tischmitte zugewandten kraftwirksamen Spulensträngen mindestens in der Größe des Querschnittes der Rückflußstücke zuzüglich der vorgesehenen Verfahrwege besitzt. In der Tischmitte ist ein Objektträger aus strahlungsdurchlässigem Werkstoff, z. B. Glas, angeordnet und in zwei Ecken der kreuzförmigen Tischplatte sind Liniengitter tragende Rasterplatten in einer Ebene senkrecht zueinander befestigt. Diese Rasterplatten werden durch Lichtquellen beleuchtet, mit optoelektronischen Empfängern abgetastet und liefern inkrementale Ortssignale für einen angeschlossenen Lageregler, der die Ortssignale mit den zugeführten Steuersignalen vergleicht und entsprechend den notwendigen Bewegungen zur Erreichung der Sollposition die entsprechenden Spulen an vorhandene Gleichspannungsquellen entsprechender Polarität äquivalent der auftretenden Regelabweichung mit verschieden langer Impulszeit anschließt. Die Lageinformation kann aber auch über ein an sich bekanntes Laserwegmeßsystem oder andere inkrementelle Geber gewonnen werden, wobei dann auf der Tischplatte nur die Laserinterferometerspiegel oder andere inkrementelle Geberplatten angeordnet werden und die Meßwertverarbeitung außerhalb des Tisches erfolgt und keine Massebelastung ergibt.

Zur Vergrößerung der erzeugten Kraft, zur Kompensation bzw. zur Erzeugung von Drehmomenten zur Verhinderung bzw. Erzeugung von Drehbewegungen geringer Größe werden mindestens vier Spulen mit den kraftwirksamen Spulensträngen zur Tischmitte in zwei parallelen Kraftwirkungslinien für jede Koordinate x , y in der Tischplatte und die entsprechenden Dauermagnetpaare auf einer ferromagnetischen Grundplatte oder entsprechenden ferromagnetischen Teilstücken der Grundplatte angeordnet. Die Stromstärke in den Spulen wird dann durch den Lageregler so eingestellt, daß je nach der vorhandenen Bewegungsaufgabe eine zentrisch wirkende Summenkraft oder ein Drehmoment auf die Tischplatte ausgeübt wird.

Zum Erreichen einer großen Feinfühligkeit der Drehmomentenkompensation oder zur Erzeugung großer Drehmomente mit kleinen Kräften bei geringer Spulenzahl werden jeweils zwei Spulen und

130018/0681

die entsprechenden Dauermagnete in zwei parallelen Kraftwirkungslinien mit den nichtkraftwirksamen Spulenköpfen zur Tischmitte für jede Koordinate x, y benutzt. Die Stromstärke wird auch in den Spulen entsprechend der vorhandenen Bewegungsaufgabe geregelt. Die ferromagnetische Grundplatte und die Tischplatte ist vorzugsweise kreuzförmig ausgebildet und die Rasterplatten sind in der Nähe der Tischmitte angeordnet.

Zur Kompensation oder zur Erzeugung von Drehmomenten und zur Erzeugung der Zweikoordinatenbewegung mit geringem Spulenaufwand werden insgesamt nur drei Spulen und drei Dauermagnetpaare, vorzugsweise unter einem Winkel von 120° , auf einer ferromagnetischen Grundplatte oder ferromagnetischen Teilstücken dieser Grundplatte von sechseckiger Form angeordnet. Der Tisch ist auf nur drei Gleitfüßen gelagert. Zur Verringerung der Tischplattenabmessungen sind die Rasterplatten in zwei Spulenkernen befestigt. Die Ströme in den Spulen werden entsprechend den Bewegungsaufgaben geregelt.

Zur besseren Ausnutzung der Spulen zur Krafterzeugung durch Wegfall der Spulenkopfbreiten und der Hälfte der Spulenkopfanzahl wird die Kraftwirkung an der Tischplatte durch nur eine rechteckige Spule in Verbindung mit jeweils zwei in einer Kraftwirkungslinie befindlichen Gleichstrommagneten auf einer nichtferromagnetischen Grundplatte erzeugt. Die minimale äußere Abmessung einer Seite der rechteckigen Spule ist entsprechend dem Verfahrensweg in der zur Krafrichtung dieses Spulenstrages senkrechten Koordiante S_{VL} , der doppelten Spulenstrangbreite $2 b_s$, dem doppelten Radius der äußeren Spulenstrangbegrenzung an den Ecken $2 r_{SE}$ und der Spulenstranglänge entsprechend der Magnetpolbreite b_{MP} des Gleichstrommagneten durch die Beziehung

$$l_{sä\ 1} = S_{VL} + 2 b_s + 2 r_{SE} + b_{MP}$$

bestimmt. Durch entsprechend der notwendigen Bewegungsrichtung geartete Umschaltung der Stromrichtung sowohl in der Spule als auch in den Gleichstrommagneten wird jede Koordinate innerhalb

130018/0681

des Bewegungsbereiches erreicht. Die Drehmomentenkompensation erfolgt durch Zuschaltung eines oder zweier zur ersten Kraftwirkungsrichtung senkrecht angeordneter Gleichstrommagnete. Tischplatte und nichtferromagnetische Grundplatte sind rechteckig und die Rasterplatten sind an zwei Ecken des Tisches gegenüber befestigt.

Zur weiteren Vergrößerung der erzeugten Kraft und zur Drehmomentenkompensation oder Drehmomentenerzeugung mit nur einer rechteckigen Spule werden mindestens vier Elektromagneten in zwei parallelen Kraftwirkungslinien für jede Koordinate x, y auf einer nichtmagnetisierbaren rechteckigen Grundplatte angeordnet. Die minimale äußere Abmessung einer Seite der rechteckigen Spule ist entsprechend $l_{sä\ 1}$ vergrößert um den Abstand l_A zwischen den Gleichstrommagneten einer Spulenstrangseite und aller Magnetpolbreiten b_{MPG} dieser Seite nach der Beziehung

$$l_{sä\ 2} = S_{v1} + 2 b_s + 2 r_{SE} + b_{MPG} + l_A$$

bestimmt. Die Tischplatte ist rechteckig mit an den Ecken vorhandenen Verstärkungen für die Aufnahme der Gleitfüße und die Rasterplatten sind in der Nähe der strahlungsdurchlässigen Objektträgerplatte angeordnet.

Zur Verringerung des Aufwandes an Gleichstrommagneten bei Verwendung nur einer Spule werden drei Gleichstrommagnete auf einer nichtmagnetisierbaren Grundplatte angepaßter Abmessung unter einem Winkel von vorzugsweise 120° zueinander angeordnet. Die Spule hat die Form eines nichtgleichseitigen Sechsecks mit einer Mindestlänge der äußeren kraftwirksamen langen Spulenstränge, die durch die Magnetpolbreite b_{MP} , dem vierfachen Verfahrensweg $4 S_v$ und etwa dem dritten Teil des vierfachen äußeren Radius an den Ecken $\frac{4}{3} r_{SE}$ nach der Beziehung

$$l_{sä\ 3} \approx b_{MP} + 4 S_v + \frac{4}{3} r_{SE}$$

bestimmt wird. Die Tischform ist der Spule angepaßt und die drei Gleitfüße werden in Tischverstärkungen an den kurzen Seiten

130018/0681

der Spule befestigt. Die Rasterplatten befinden sich in zwei Tischecken innerhalb der Spulenbegrenzung. Durch den Lage-regler werden Spule und Gleichstrommagneten entsprechend der Positionieraufgabe mit Spannung versorgt.

Völlig drehmomentenfreie Zweikoordinatenschrittmotore werden durch Verwendung gekrümmter oder als Polygonzug ausgebildeter Spulen realisiert. Der Krümmungsradius aller kraftwirksamen Spulenteile entspricht immer dem jeweiligen Abstand der einzelnen Lage der Spule vom Zentrum der Tischplatte oder der Polygonzug ist diesem Radius beliebig fein angepaßt. Bei Anwendung von nur zwei Polygonzugabschnitten zur Annäherung des genannten Radiuses liegt die Knickstelle des Polygonzuges in der Mitte der kraftwirksamen Spulenstranglänge und der Abstand der einzelnen Lagen der Spule von der Tischmitte entspricht an dieser Stelle auch dem genannten Radius der idealen Krümmung. Die Spulenkopflänge ist auch durch die Beziehung

$$l_s \min 1 \geq \frac{V_{s1}}{2} + b_s + r_s$$

bestimmt. Mit diesen gekrümmten oder als Polygonzug ausgebildeten Spulen werden für jede Koordinate x, y nur eine Spule und ein entgegengesetzt polarisiertes Dauermagnetpaar benötigt, die senkrecht zueinander auf einer angepaßt geformten ferromagnetischen Grundplatte angeordnet sind. Die Magnetpollänge l_{MPR} muß um die Höhe des kraftwirksamen Spulenkreisabschnittes verlängert werden. Die Tischplatte, die die beiden Spulen trägt, benötigt nur drei Gleitfüße und die Rasterplatten sind in der Nähe der Tischmitte angeordnet, wo sich die Objektträgerplatte befindet. Die Aussparungen für die Tischplattenbewegung besitzen die Größe und Lage wie bei ungekrümmten Spulen.

Zur Vergrößerung der zentrischen Kräfte am Tisch werden mindestens zwei Paare von gekrümmten oder Polygonzugspulen und entgegengesetzt polarisierte Dauermagnetpaare in

130018/0681

einer Kraftwirkungslinie für jede Koordinate x , y in der Tischplatte bzw. auf der ferromagnetischen Grundplatte bzw. den ferromagnetischen Teilstücken der Grundplatte angeordnet. Die Tischplatte ist dann kreuzförmig ausgebildet, besitzt vier Gleitfüße, in zwei gegenüberliegenden Ecken sind die Rasterplatten angeordnet und die Aussparungen haben Lage und Größe wie bei Verwendung ungekrümmter Spulen.

Zur Verringerung des Spulenaufwandes und der Masse des Tisches bei drehmomentenfreien Zweikoordinatenschrittmotoren wird nur eine kreisförmige Spule oder Teile davon in einer kreisförmigen oder kreisabschnittförmigen Tischplatte in Verbindung mit nur jeweils einem Gleichstrommagnet in jeder Koordinate x , y auf einer nichtferromagnetischen Grundplatte genutzt. Die Form der Grundplatte ist der Lage der Gleichstrommagnete und der Gleitlagerung der Tischplatte angepaßt. Die Tischplatte trägt innerhalb der Spule an Verstärkungen drei Gleitfüße und Objektträger- und Rasterplatten an speichenartigen Verstrebungen.

Für eine Erhöhung der erzeugten drehmomentenfreien Kraft werden zwei Gleichstrommagneten in einer Kraftwirkungslinie für jede Koordinate x , y auf einer rechteckigen nichtmagnetisierbaren Grundplatte befestigt und in deren Luftspalten eine kreisförmige Spule, die in einer kreisförmigen Tischplatte befestigt ist, angeordnet. Die Tischplatte ist auf vier Gleitfüßen gelagert und die Rasterplatten sind außerhalb der Spule an der Tischplatte befestigt.

Zur Vermeidung der Nachführung von Schleppkabeln und nichtzentrisch am Tisch wirkender Kräfte wird eine Spulenanordnung von mindestens einer rechteckigen Spule für je eine Koordinate x , y auf einer ferromagnetischen Grundplatte angepaßter Form befestigt. Mit der Grundplatte ist ein

130018/0681

Rückschlußdeckel so verbunden, daß über den Spulen ein Luftspalt bleibt. In diesem Luftspalt ist eine nichtmagnetische bewegliche Tischplatte angeordnet, in der mindestens ein, vorzugsweise mehrere Dauermagnetpaare mit Magneten entgegengesetzter Polarität über den festen Spulen für jede Koordinatenrichtung x , y angeordnet sind. Die Rückschlußplatte hat über der Tischplatte Druckluftzuführungen für eine fluide Lagerung der Tischplatte. Bei vorzugsweise kreuzförmiger Tischplattenform ist die minimale Breite $b_{ST \text{ Min}}$ der Kreuzstege des Tisches durch die Druckluftzuführungsflächenbreite b_{DF} bestimmt nach der Beziehung $b_{ST \text{ Min}} \geq 2 b_{DF}$, damit der Tisch nicht aus dem Wirkungsbereich des Luftpolsters der fluiden Lagerung kommt. Die Magnetpollänge l_{MP} wird durch den vorgesehenen Verfahrensweg S_v und die Spulenstrangbreite b_s nach der Beziehung

$$l_{MP} = S_v + b_s$$

festgelegt. Die Magnetpolbreite und die Magnethöhe wird durch die für das Erreichen einer geforderten Dynamik in Verbindung mit der vorhandenen Tischplatten- und Objektmasse notwendigen Kraft bei dem gewählten Dauermagnetmaterial bestimmt. Die Spulenlänge wird zur Vermeidung von Kräften senkrecht zur Antriebsrichtung durch die Spulenkopfquerstränge und den von den Magneten ausgehenden Streuflüssen größer als die Summe von Magnetpolbreite b_{MP} , dem Verfahrensweg der zur Kraftwirkungsrichtung der betreffenden Spule senkrechten Koordinate S_{v1} , der doppelten Spulenstrangbreite $2 b_s$ und der doppelten Magnethöhe $2 h_M$ nach der Beziehung

$$l_s \text{ Min } 2 \geq b_{MP} + S_{v1} + 2 b_s + 2 h_M$$

festgelegt. Die den Magneten zugewandte Seite des Rückschlußdeckels besitzt eine Kunststoffbeschichtung, vorzugsweise PTFE, zur Verringerung der Anziehungskräfte und

130018/0681

des Verschleißes bei Abschaltung der Druckluft. Die Abschaltung der Druckluft ermöglicht gleichzeitig die magnetische Klemmung der Tischplatte als Arretierung gegen von außen auf die Tischplatte wirkende Kräfte während der Stillstandsphasen. Der Rückschlußdeckel besitzt außer seinen vier Befestigungsstegen an den Seiten noch zwei Flußführungsstrecken für die nahe der Mitte des Tisches liegenden Magnete, damit durch die entgegengesetzte Polung der Magnete in gleichen Flußpfaden keine entgegengesetzt gerichtete magnetischen Flüsse auftreten. Die Rasterplatten für die optoelektronische Signalgewinnung sind symmetrisch zu diesen zusätzlichen Flußführungsstrecken angeordnet. In der Mitte des Rückschlußdeckels, des Tisches und der Grundplatte befinden sich strahlungsdurchlässige Öffnungen, wobei in der Tischmitte die Objektträgerplatte, z. B. aus Glas, angeordnet ist.

Zur Verringerung des Aufwandes für die Lagerung des Tisches wird eine Lagerung auf Gleitfüßen, die zwischen den entgegengesetzt polarisierten Dauermagneten oder zentrisch zur Tischplattenmitte an anderen geeigneten Orten angeordnet sind, benutzt. Die Erhöhung der Reibung wird zur Schwingungsdämpfung durch Verwendung von PTFE oder anderer geschwindigkeitsabhängige Reibung aufweisender Kunststoffe an den Gleitfüßen ausgenutzt. Die ferromagnetische Rückschlußplatte besitzt statt der Kunststoffbeschichtung an der Unterseite nur eine besonders glatte Oberfläche an den vorgesehenen Gleitflächen. Die Tischplatte kann jetzt für minimale Masseverhältnisse kreuzförmig so ausgebildet werden, daß nur die Magnete, die Objektträgerplatte und die Rasterplatten in einer Ebene genau geführt werden können.

Die Erfindung ist im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. In den beiliegenden Zeichnungen wird gezeigt:

- Fig. 1 Prinziplösung eines Zweikoordinatenschrittmotors im Schnitt AA mit zwei in einer beweglichen Tischplatte befestigten Spulen in einer Kraftwirkungslinie für jede Koordinate x, y und festen Permanentmagneten
- Fig. 2 Schnitt BB zu Fig. 1
- Fig. 3 Zweikoordinatenschrittmotor im Schnitt AA mit vier in einer beweglichen Tischplatte befestigten Spulen in zwei parallelen Kraftwirkungslinien für jede Koordinate x, y und festen Permanentmagneten
- Fig. 4 Schnitt BB zu Fig. 3
- Fig. 5 Zweikoordinatenschrittmotor im Schnitt AA mit zwei in einer beweglichen Tischplatte befestigten Spulen in zwei parallelen Kraftwirkungslinien für jede Koordinate x, y und festen Permanentmagneten
- Fig. 6 Teilansicht C zu Fig. 5
- Fig. 7 Schnitt BB zu Fig. 5
- Fig. 8 Zweikoordinatenschrittmotor im Schnitt AA mit drei in einer beweglichen Tischplatte befestigten Spulen unter einem Winkel von 120° und festen Permanentmagneten
- Fig. 9 Schnitt BB zu Fig. 8

130018/0681

16.

- Fig. 10 Zweikoordinatenschrittmotor im Schnitt AA mit einer in einer beweglichen Tischplatte befestigten Spule und zwei Gleichstrommagneten in einer Kraftwirkungsrichtung für jede Koordinate x, y
- Fig. 11 Schnitt BB zu Fig. 10
- Fig. 12 Zweikoordinatenschrittmotor in Schnitt AA mit einer in einer beweglichen Tischplatte befestigten Spule und vier Gleichstrommagneten in zwei parallelen Kraftwirkungslinien in jeder Koordinate x, y
- Fig. 13 Schnitt BB zu Fig. 12
- Fig. 14 Zweikoordinatenschrittmotor mit 3 teilweise abgeschnittenen Gleichstrommagneten unter 120° und einer in einer beweglichen Tischplatte befestigten nichtgleichseitigen Sechseckspule
- Fig. 15 Zweikoordinatenschrittmotor im Schnitt AA mit je einer in einer beweglichen Tischplatte befestigten Spule mit gekrümmten Spulensträngen für jede Koordinatenrichtung x, y und festen Permanentmagneten
- Fig. 16 Schnitt BB zu Fig. 15
- Fig. 17 Zweikoordinatenschrittmotor mit teilweise abgeschnittenen Rückschlußstücken und zwei in einer beweglichen Tischplatte befestigten Spulen mit gekrümmten Spulensträngen in jeder Koordinatenrichtung x, y und festen Permanentmagneten
- Fig. 18 Zweikoordinatenschrittmotor mit je einem teilweise abgeschnittenem Gleichstrommagneten für jede Koordinate x, y und einer in einer beweglichen Tischplatte befestigten kreisförmigen Spule

130018/0681

Fig. 19 Zweikoordinatenschrittmotor mit je zwei teilweise abgeschnittenen Gleichstrommagneten für jede Koordinate x, y und einer in einer beweglichen Tischplatte befestigten kreisförmigen Spule

Fig. 20 Zweikoordinatenschrittmotor im Schnitt AA mit vier Permanentmagneten in jeder Koordinatenrichtung x, y in einer fluid gelagerten Tischplatte über festen Spulen

Fig. 21 Schnitt BB zu Fig. 20

Fig. 22 Zweikoordinatenschrittmotor im Teilschnitt AA mit vier Permanentmagneten in jeder Koordinatenrichtung x, y in einer gleitgelagerten Tischplatte über festen Spulen

Fig. 23 Schnitt BB zu Fig. 22

Nach Fig. 1 und Fig. 2 ist ein Zweikoordinatenschrittmotor dargestellt. Auf einer ferromagnetischen Grundplatte 1 sind jeweils zwei Paare von entgegengesetzt polarisierten Dauermagneten 2 in jeder Koordinate x, y und deren ferromagnetische Rückschlußteile 3 angeordnet. In den Luftspalten zwischen Dauermagneten 2 und Rückschlußteilen 3 ist ein mit Gleitfüßen 5 auf einer Gleitfläche 8 gelagerte Tischplatte 6 angeordnet, in der zwei rechteckige Spulen 4 für jede Koordinatenrichtung x, y so befestigt sind, daß bei Stromfluß in diesen Spulen 4 eine Kraft auf die Tischplatte 6 ausgeübt wird. Die Länge der Spulenköpfe $l_{s \text{ Min}}$ ist so zu bemessen, daß die kraftwirksamen Spulenstränge während der Bewegung nie aus dem Bereich der magnetischen Induktion der Dauermagnete 2 gelangen können. Neben den der Tischmitte zugewandten Spulensträngen sind in der Tischplatte 6 Aussparungen von mindestens der Größe des Querschnittes der Spulenrückflußstücke, vergrößert um den vorgesehenen Verfahrweg in der entsprechenden Koordinate. In der Mitte der Tischplatte 6 ist eine Objektträger-

130018/0681

platte 7 aus strahlungsdurchlässigem Werkstoff, z. B. Glas, vorhanden und in zwei gegenüberliegenden Ecken der kreuzförmigen Tischplatte 6 sind Rasterplatten 9, 10 senkrecht zueinander in einer Ebene angeordnet, die mit einer Lichtquelle 11 beleuchtet und mit Fotoempfängern 12 abgetastet werden. Die dabei gewonnene inkrementale Lageinformation wird einem Lageregler zum Vergleich mit zugeführten Steuersignalen zugeführt und dann entsprechend der gegebenen Bewegungsaufgabe die einzelnen Spulen 4 an Spannungsquellen entsprechender Polarität mit der notwendigen Impulsdauer angeschlossen.

Nach Fig. 3 und Fig. 4 ist ein Zweikoordinatenschrittmotor in veränderter Ausführung von Fig. 1 und Fig. 2 dargestellt. Zur Vergrößerung der erzeugten Kraft, zur Kompensation oder zur Erzeugung von Drehmomenten werden vier Spulen 4 in zwei parallelen Kraftwirkungslinien für jede Koordinate x, y mit den kraftwirksamen Spulensträngen der Tischplattenmitte zugewandt, in der Tischplatte 13 befestigt und diese in den Luftspalten zwischen Dauermagneten 2 und Rückschlußteil 3 zur Wirkung gebracht. Die Dauermagnete 2 sind auf einer rechteckigen ferromagnetischen Grundplatte befestigt. Die Tischplatte 13 trägt in der Mitte die Objektträgerplatte 7, außen zwischen den nebeneinanderliegenden Spulen die Gleitfüße 5 und entsprechend geformte Aussparungen für die Tischbewegung. Die Gleitfüße laufen auf Gleitflächen 8. Mit den durch Lichtquellen 11 und Fotoempfänger 12 von den Rasterplatten 9, 10 gewonnenen Lageinformationen wird die Regelung der Stromimpulse in den einzelnen Spulen 4 so vorgenommen, daß entweder entstehende Drehmomente kompensiert oder, wenn gewünscht, verstärkt werden.

Fig. 5, Fig. 6 und Fig. 7 zeigen einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur Erhöhung der Feinfühligkeit der Drehmomentenkompensation bzw. zur Erzeugung großer Drehmomente mit kleinen Kräften bei minimalem Spulenaufwand je-

130018/0681

weils zwei Spulen 4 in zwei parallelen Kraftwirkungslinien mit den nichtkraftwirksamen Spulenköpfen der Tischmitte zugewandt in der beweglichen Tischplatte 21 für jede Koordinate x, y angeordnet sind. Die Tischplatte 21 und die ferromagnetische Grundplatte 20 sind kreuzförmig ausgebildet. Die Dauermagneten 2 und die Rückschlußteile 3 sind an den Enden der kreuzförmigen Grundplatte 20 befestigt. In den Ecken der Tischplatte 21 sind die Gleitfüße 5 angeordnet, die auf den Gleitflächen 8 laufen. Die Tischplatte 21 trägt in der Mitte die Objektträgerplatte 7 und daneben die Rasterplatten 9, 10, die wieder mit den Lichtquellen 11 und den Fotoempfängern 12 die Lageinformation für den Regelkreis liefern.

Fig. 8 und Fig. 9 zeigen einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur Kompensation oder zur Erzeugung von Drehmomenten mit geringem Spulen- und Magnetaufwand drei Dauermagnetpaare 2 und die dazugehörigen Rückschlußteile 3 unter 120° auf einer sechseckigen ferromagnetischen Grundplatte 22 so befestigt werden, daß eine auf den Gleitfüßen 5 und den Gleitflächen 8 gelagerte sternförmige Tischplatte 23 mit den Spulen 4 so verbunden wird, daß die nichtkraftwirksamen Spulenköpfe der Tischmitte zugewandt sind, wo sich die Objektträgerplatte 7 befindet. Zur Verringerung der Masse der Tischplatte 23 sind die Rasterplatten 9, 10 in zwei Spulenkernen befestigt, wo sie mit den Lichtquellen 11 und den Fotoempfängern 12 die inkrementale Lageinformation erzeugen, die zur Stromsteuerung der Spulen 4 dient.

Fig. 10 und Fig. 11 zeigen einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur besseren Ausnutzung des Spulenkupfers zur Kraft-erzeugung nur eine rechteckige Spule 28 in Verbindung mit jeweils zwei Gleichstrommagneten, bestehend aus Spule 26 und Kern 25, für jede Koordinatenrichtung x, y auf einer nicht-magnetisierbaren Grundplatte 24 benutzt wird. Die Tischplatte 27 besitzt rechteckige Grundform und hat an den Ecken Verstärkungen bzw. Erweiterungen für die Befestigung der Gleitfüße 5,

130018/0681

die auf den Gleitflächen 8 laufen, und die Anordnung der Rasterplatten 9, 10, die durch die Lichtquellen 11 beleuchtet und die Fotoempfänger 12 zur inkrementalen Lagesignalgewinnung abgetastet werden. In der Tischmitte ist die Objektträgerplatte 7 angeordnet. Bei nichtzentrisch am Tisch entstehenden Kräften werden jeweils zur ersten Bewegungsrichtung senkrechte Kraftwirkungen in der Spule auslösende Gleichstrommagnete 25, 26 entsprechender Polarität eingeschaltet, um Drehmomente zu kompensieren.

Fig. 12 und Fig. 13 zeigen einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur besseren Kompensation oder zur wirksameren Erzeugung von Drehmomenten im Zusammenwirken von nur einer rechteckigen Spule 28 mit vier Gleichstrommagneten, bestehend aus Spule 26 und Kern 25, in zwei parallelen Kraftwirkungsrichtungen für jede Koordinate x, y auf einer rechteckigen nichtmagnetisierbaren Grundplatte 30 angeordnet werden. Die Tischplatte 29 ist rechteckig und hat an den Ecken Verstärkungen für die Aufnahme der Gleitfüße 5, die auf den Gleitflächen 8 laufen. In der Tischmitte befindet sich die Objektträgerplatte 7 und daneben die Rasterplatten 9, 10, die von Lichtquellen 11 beleuchtet und von Fotoempfängern 12 zur Gewinnung des inkrementalen Lagesignals abgetastet werden. Die Stromsteuerung in der Spule und in den Gleichstrommagneten 25, 26 erfolgt entsprechend der vorliegenden Bewegungsaufgabe.

Fig. 14 zeigt einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur Verringerung des Aufwandes an Gleichstrommagneten bei Verwendung nur einer Spule 32 drei Gleichstrommagneten, die aus Spule 26 und Kern 25 bestehen, unter 120° auf einer angepaßt geformten nichtmagnetisierbaren Grundplatte 31 angeordnet werden. Die Spule 32 hat die Form eines nichtgleichseitigen Sechsecks und die Tischplatte 47 hat entsprechende Form. An den kurzen Seiten der Tischplatte 47 sind die Gleitfüße 5 angeordnet, die auf den Gleitflächen 8 laufen. In der Tischmitte ist

130018/0681

die Objektträgerplatte 7 und in zwei Tischecken sind innerhalb der Spule 32 die Rasterplatten 9, 10 zur inkrementalen Signalgewinnung angeordnet.

Fig. 15 und Fig. 16 zeigen einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur Erzeugung drehmomentenfreier Antriebskräfte je eine gekrümmte Spule 17 für jede Koordinatenrichtung x, y in einer angepaßt geformten Tischplatte 15 über je einem Paar entgegengesetzt polarisierter Dauermagneten 2, die auf einer geeignet geformten ferromagnetischen Grundplatte 16 befestigt sind, angeordnet ist. Der Krümmungsradius aller kraftwirksamen Spulenteile ist gleich dem Abstand der einzelnen Spulenlagen vom Zentrum der Tischplatte 15, wobei das Zentrum durch den Tischplattenschwerpunkt bestimmt wird. Die Tischplatte 15 hat neben den der Tischmitte zugewandten Spulensträngen Aussparungen für den Durchtritt der Rückschlußstücke 3 und den vorgesehenen Verfahrweg, an drei um ca. 120° versetzten Orten sind Gleitfüße 5 angebracht, die auf den Gleitflächen 8 laufen, in der Tischplattenmitte ist die Objektträgerplatte 7 und daneben sind die Rasterplatten 9, 10, die durch die Lichtquellen 11 beleuchtet und die Fotoempfänger 12 abgetastet werden, angeordnet.

Fig. 17 zeigt einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur Erzeugung größerer drehmomentenfreier Antriebskräfte für jede Koordinatenrichtung x, y zwei gekrümmte Spulen 17 in einer kreuzförmigen Tischplatte 18 über je einem entgegengesetzt polarisierten Paar von Dauermagneten 2 angeordnet sind, wobei die übrigen Funktionsorgane ähnlich wie in Fig. 1 angeordnet sind.

Fig. 18 zeigt einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur Verringerung des Spulenaufwandes bei der Erzeugung drehmomentenfreier Antriebskräfte nur eine kreisförmige Spule 34 in einer kreisförmigen Tischplatte 37 verwendet wird und die sich in den Luftspalten je eines Gleichstrommagneten, bestehend aus

130018/0681

Spule 26 und Kern 25, für jede Koordinatenrichtung x, y, die auf einer nichtmagnetisierbaren Grundplatte 36 befestigt sind, befindet. Die Tischplatte 37 ist äußerst massearm gestaltet und trägt an speichenartigen Verstrebungen in der Tischmitte die Objektträgerplatte 7, die Rasterplattenanordnung 9, 10 und die Tischgleitlagerung 5.

Fig. 19 zeigt einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur Erzeugung größerer drehmomentenfreier Kräfte und besserer Spulenausnutzung bei Verwendung nur einer kreisförmigen Spule 34 in einer kreisförmigen Tischplatte 35 diese sich in den Luftspalten von zwei Gleichstrommagneten, bestehend aus Spule 26 und Kern 25, für jede Koordinatenrichtung x, y, die auf einer rechteckigen nichtmagnetisierbaren Grundplatte 33 befestigt sind, befindet. Am Rande der kreisförmigen Tischplatte 35 sind die Gleitfüße 5 und die Rasterplatten 9, 10 für die optoelektronische Signalgewinnung befestigt.

Fig. 20 und Fig. 21 zeigen einen Zweikoordinatenschrittmotor, bei dem zur Vermeidung von Schleppkabeln und zur Erzeugung von drehmomentenfreien Antriebskräften an der kreuzförmigen Tischplatte 30 eine Spulenanordnung von je zwei Rechteckspulen 4 für jede Koordinatenrichtung x, y auf einer ferromagnetischen Grundplatte 38 angepaßter achteckiger Form befestigt ist. Mit der Grundplatte 38 ist ein Rückschlußdeckel 42 verbunden, der über den Spulen 4 einen Luftspalt frei läßt, in dem eine kreuzförmige Tischplatte 30 angeordnet ist, die in jedem Kreuzsteg über den Rechteckspulen 4 ein entgegengesetzt polarisiertes Paar von Dauermagneten 2 besitzt und in deren Tischmitte sich die Objektträgerplatte 7 befindet. Der Rückschlußdeckel 42 besitzt außer seinen vier Befestigungsstegen zur Grundplatte 38 noch zwei besondere Flußführungsstrecken 44 für die nahe der Tischmitte liegenden Dauermagnete 2. Die Unterseite des Rückschlußdeckels 42 ist mit einer Kunststoffschicht 41, z. B. PTFE, beschichtet und an der Oberseite sind Druckluftzuführungen 43 vorhanden, die die Druckluft

zu den Verteilungskanälen im Rückschlußdeckel 42 leitet. Zwischen den Spulen 4 auf der ferromagnetischen Grundplatte 38 befinden sich nichtmagnetisierbare Ausfüllteile 39. In zwei Ecken der Tischplatte 30 sind die Rasterplatten 9, 10 befestigt, die von den Lichtquellen 11 beleuchtet und mit den Fotoempfängern 12 abgetastet werden.

Fig. 23 zeigt einen Zweikoordinatenschrittmotor in veränderter Ausführung von Fig. 22 in vergrößertem Ausschnitt. Zur Verringerung der Masse der Tischplatte 45 und des Aufwandes für ihre Lagerung werden Gleitfüße 5 in den Kreuzstegen der Tischplatte 45 zwischen den entgegengesetzt polarisierten Dauermagneten 2 angeordnet und kommen durch die magnetische Anziehungskraft mit den metallischen Gleitflächen an der Unterseite des Rückschlußdeckels 46 in Kontakt und bilden so die Gleitpaarung, die die Luftlagerung ersetzt.

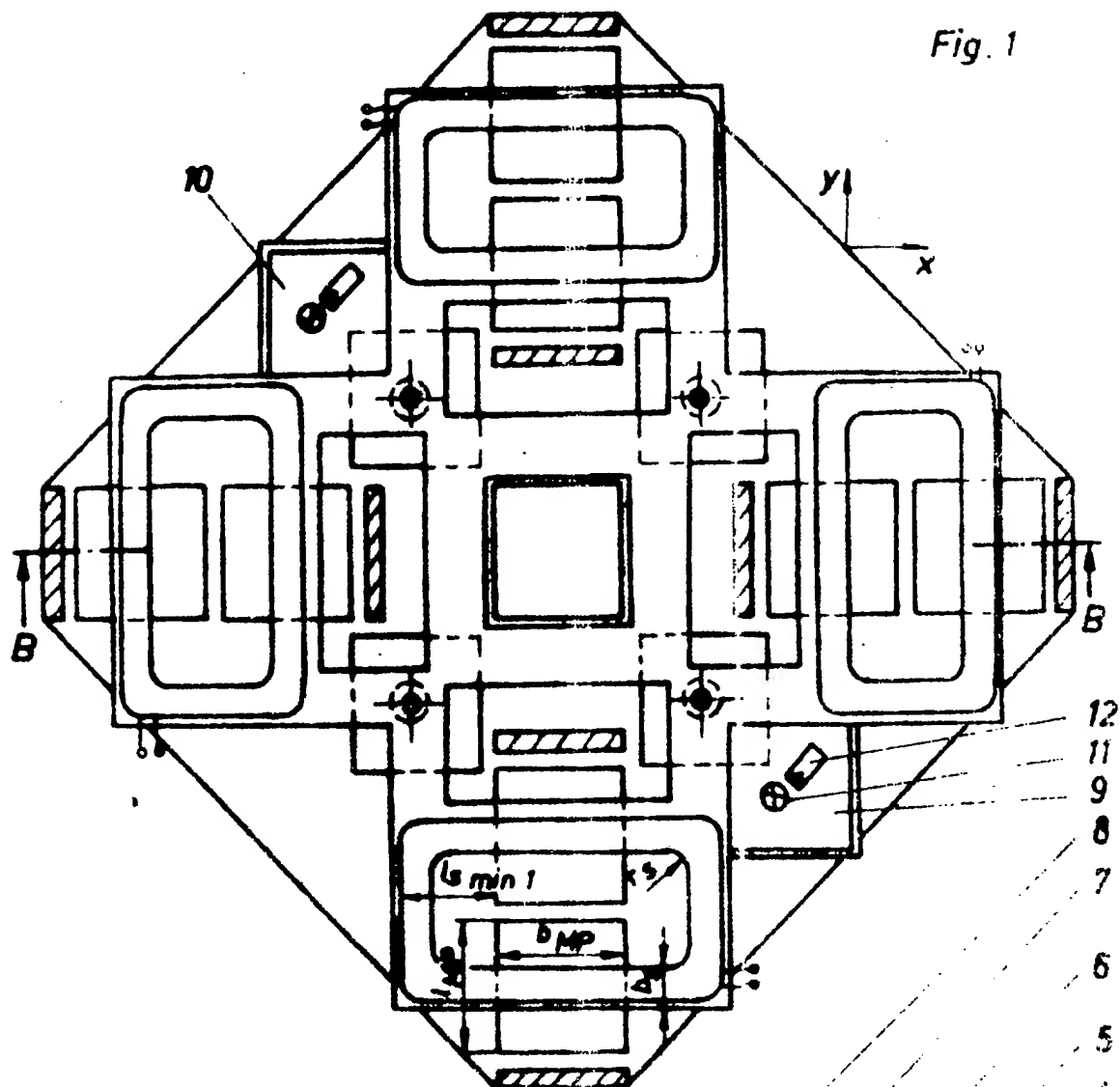
130018/0681

Zusammenfassung

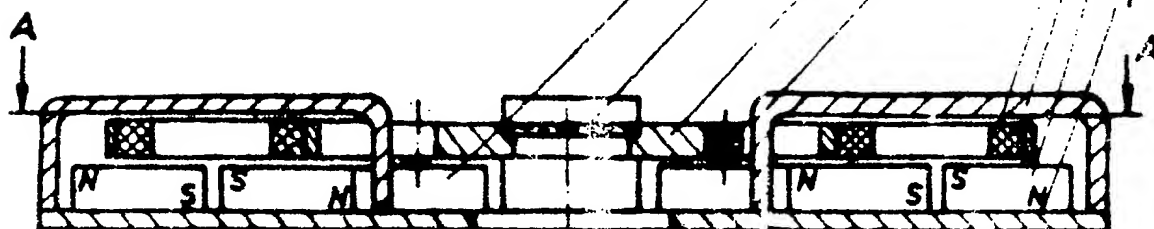
Die Erfindung betrifft einen linearen Zweikoordinatenschrittmotor, der vorteilhaft für Positionierzwecke in der Gerätetechnik einsetzbar ist, weil mit ihm sehr kleine Schrittweiten sowie eine gute Dynamik erreichbar sind. Das Wesen besteht darin, daß eine oder mehrere Spulenanordnungen bestimmter Abmessungen in einer beweglichen Tischplatte befestigt sind, die in Luftspalten von Magnetsystemen geführt ist oder daß mehrere Permanentmagneten in dieser Tischplatte über festen Spulen so angeordnet sind, daß sie bei Stromfluß in den Spulen eine Kraft auf die Tischplatte ausüben und daß die Spulen oder Magnete auf ihrem Bewegungsweg in zwei Koordinaten nicht aus dem Bereich der Wirkung der magnetischen Induktion gelangen. Die die Spulen oder Magnete tragende Tischplatte ist mit einem Zweikoordinatenmeßwertgeber mechanisch oder optisch so verbunden, daß der angeschlossene Lageregler die Spulen entsprechend den vorgegebenen Steuerimpulsen und den ermittelten Lagekoordinaten so an Spannungsquellen anschließt, daß die gewünschte Sollposition erreicht und gehalten wird. Das Grundprinzip ist in Fig. 1 dargestellt.

130018/0681

Schnitt A-A



Schnitt B-B

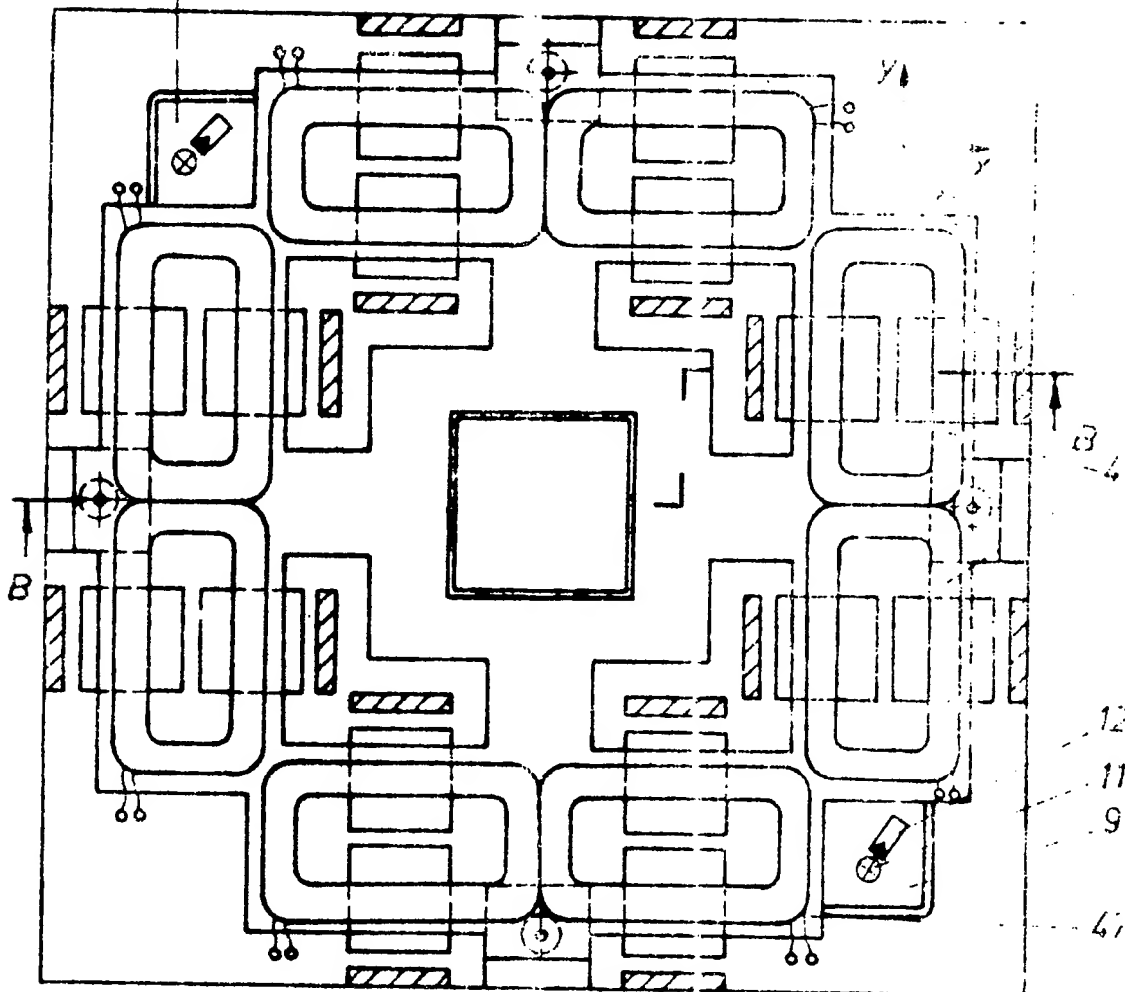


130018/0681

Schnitt A-A

10

Fig. 3



Schnitt B-B

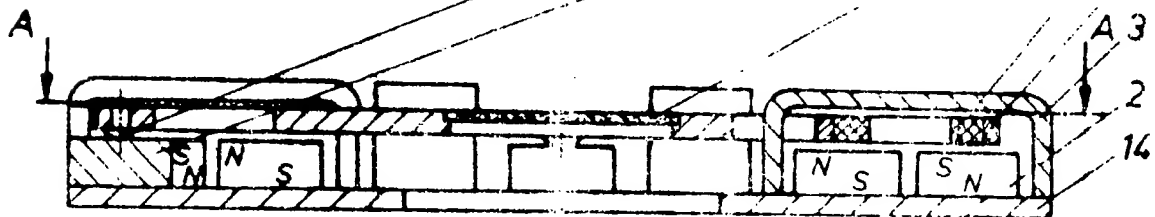


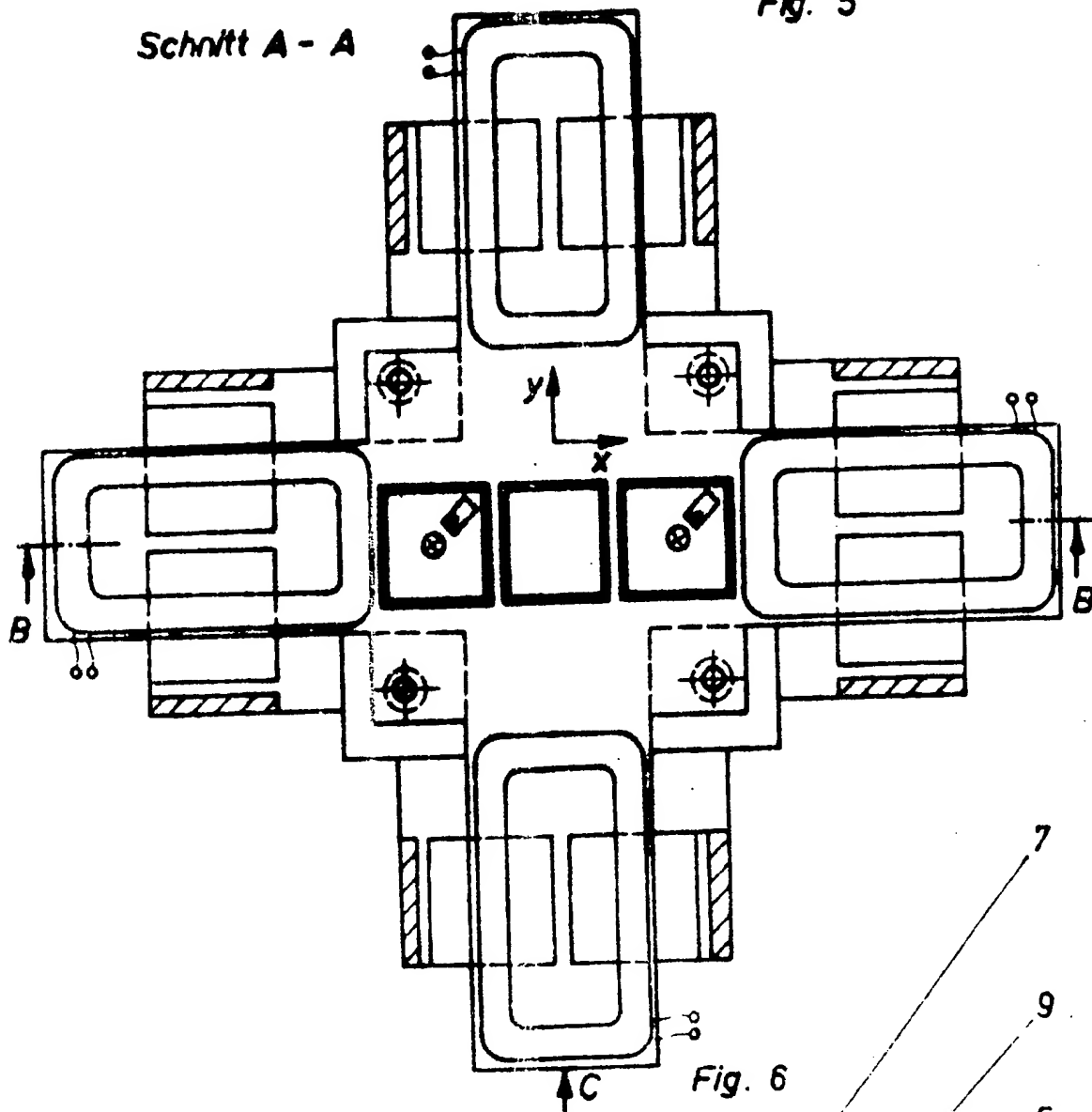
Fig. 4

130018/068.1

BAD ORIGINAL

Fig. 5

Schnitt A - A



Teilansicht C

A Schnitt B - B

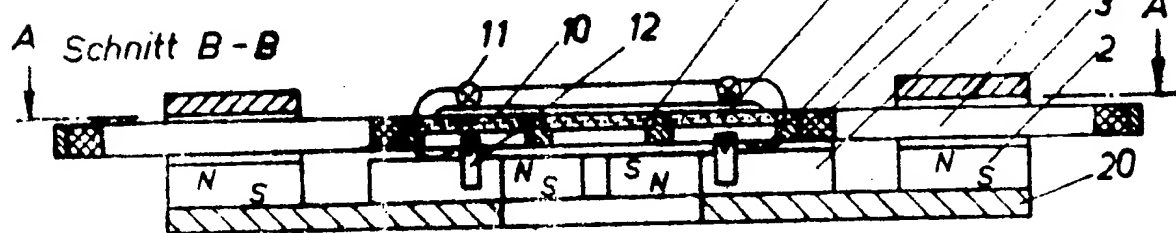


Fig. 7

130018/0687

Schnitt AA

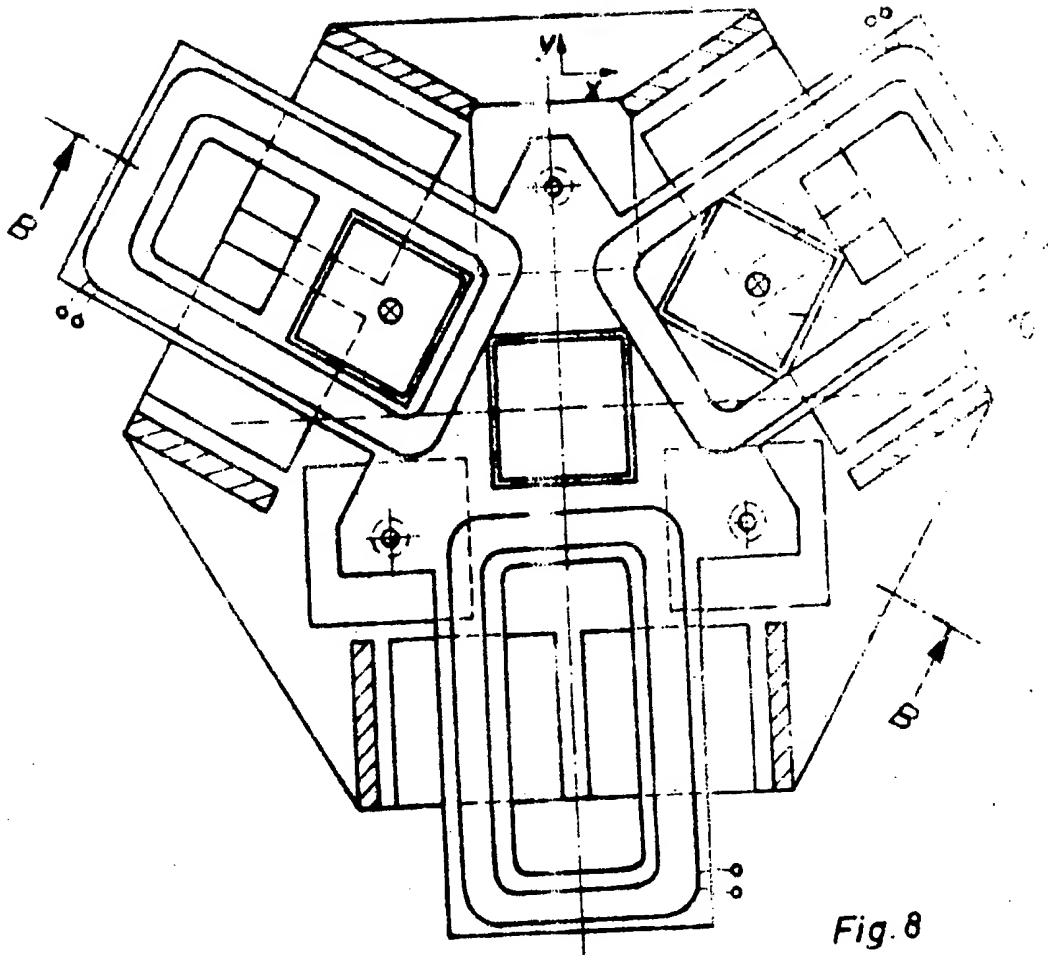


Fig. 8

Schnitt BB

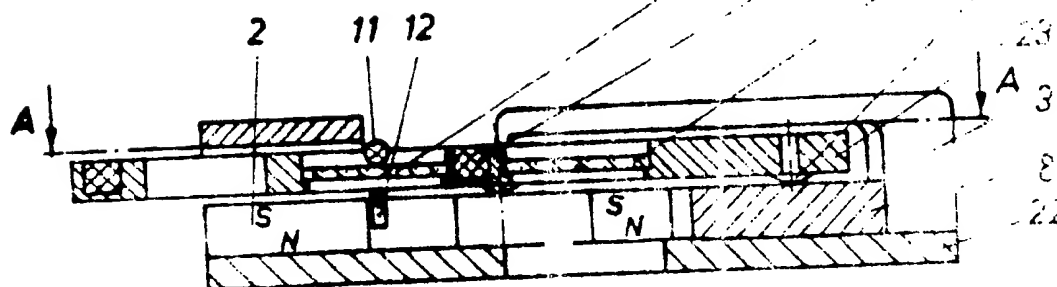


Fig. 9

130018/0681 *

BAD ORIGINAL

28

3037648
Fig. 10

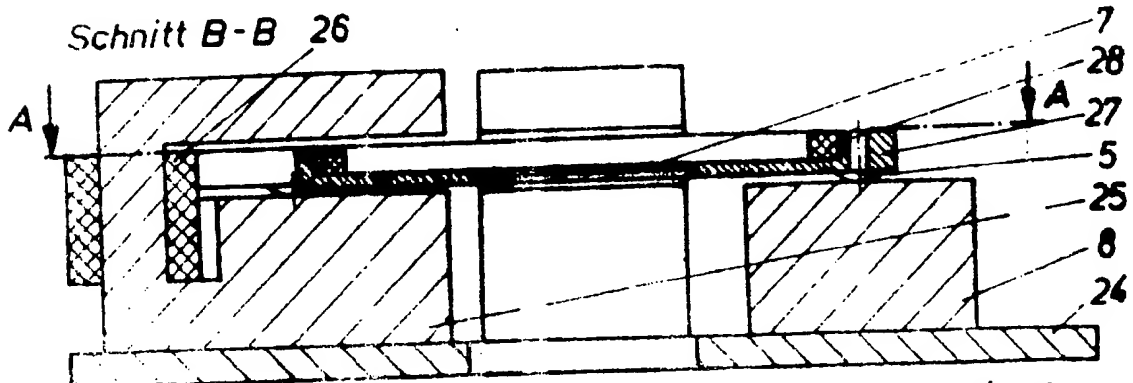
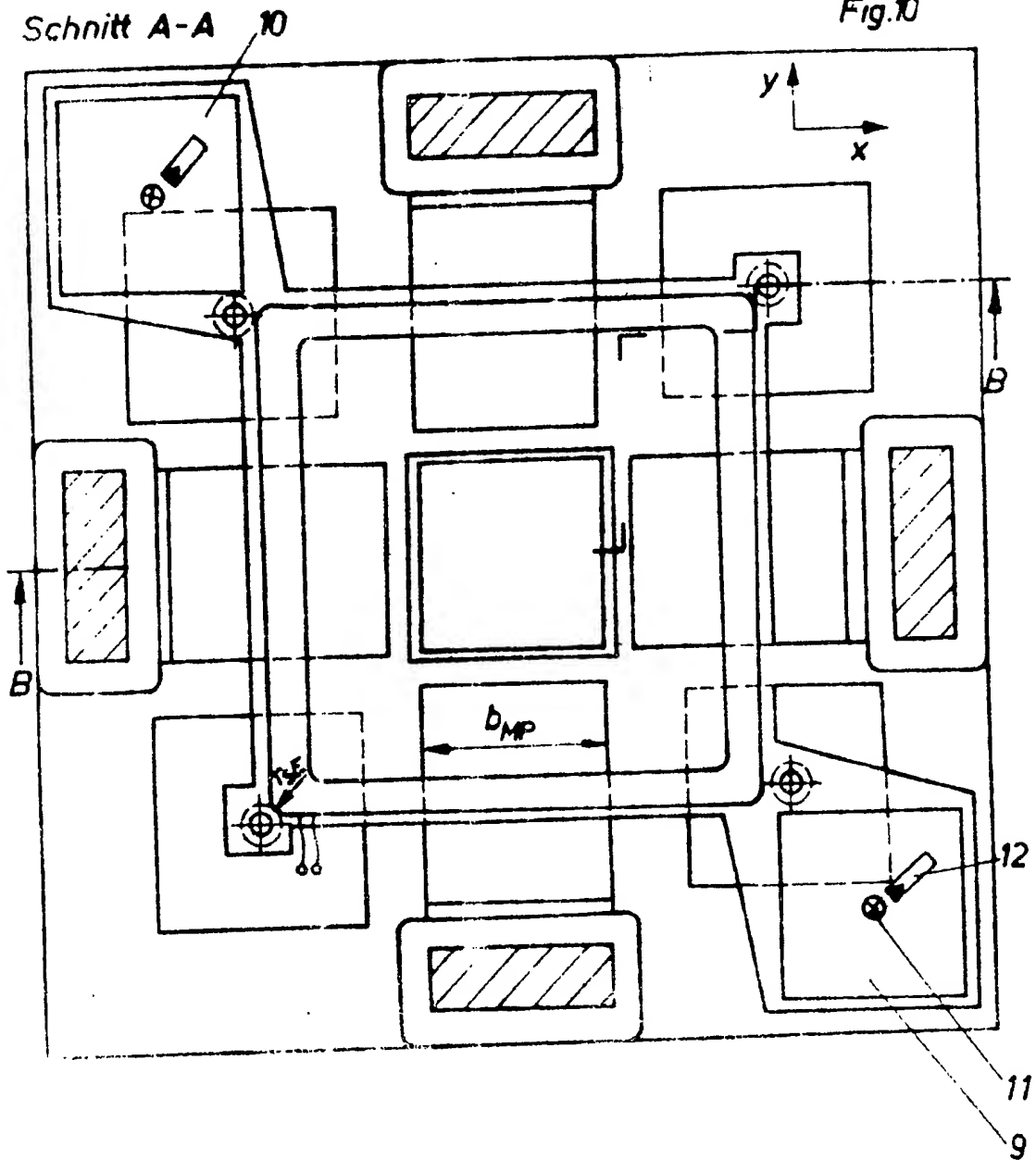


Fig. 11

130018/0681

29.

Fig. 12

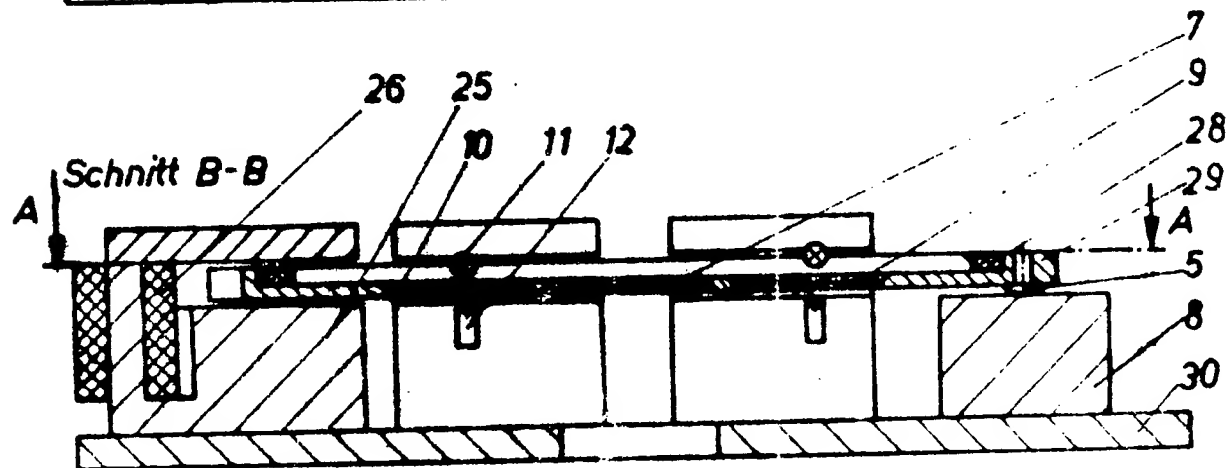
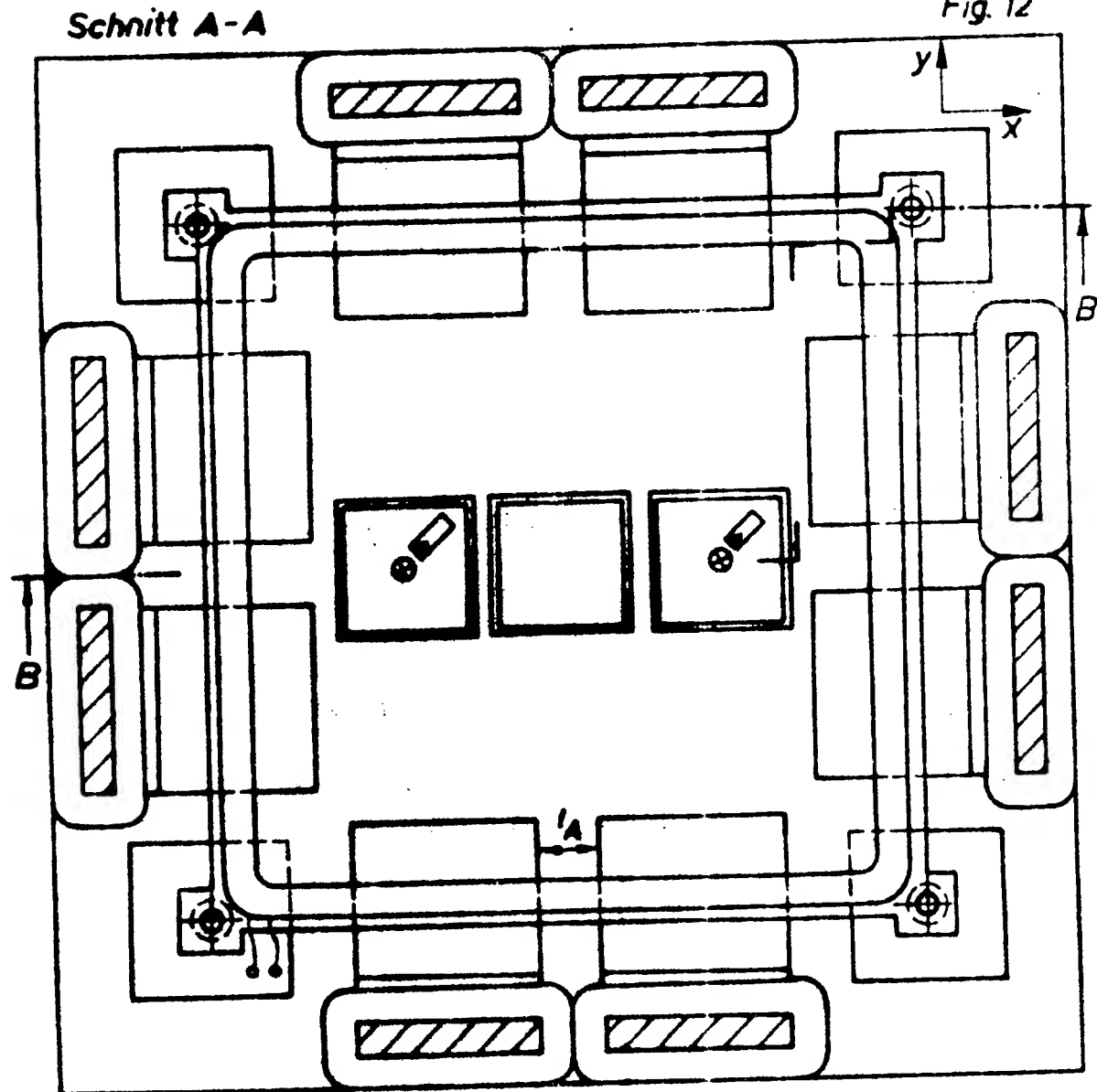


Fig. 13

130018/0681

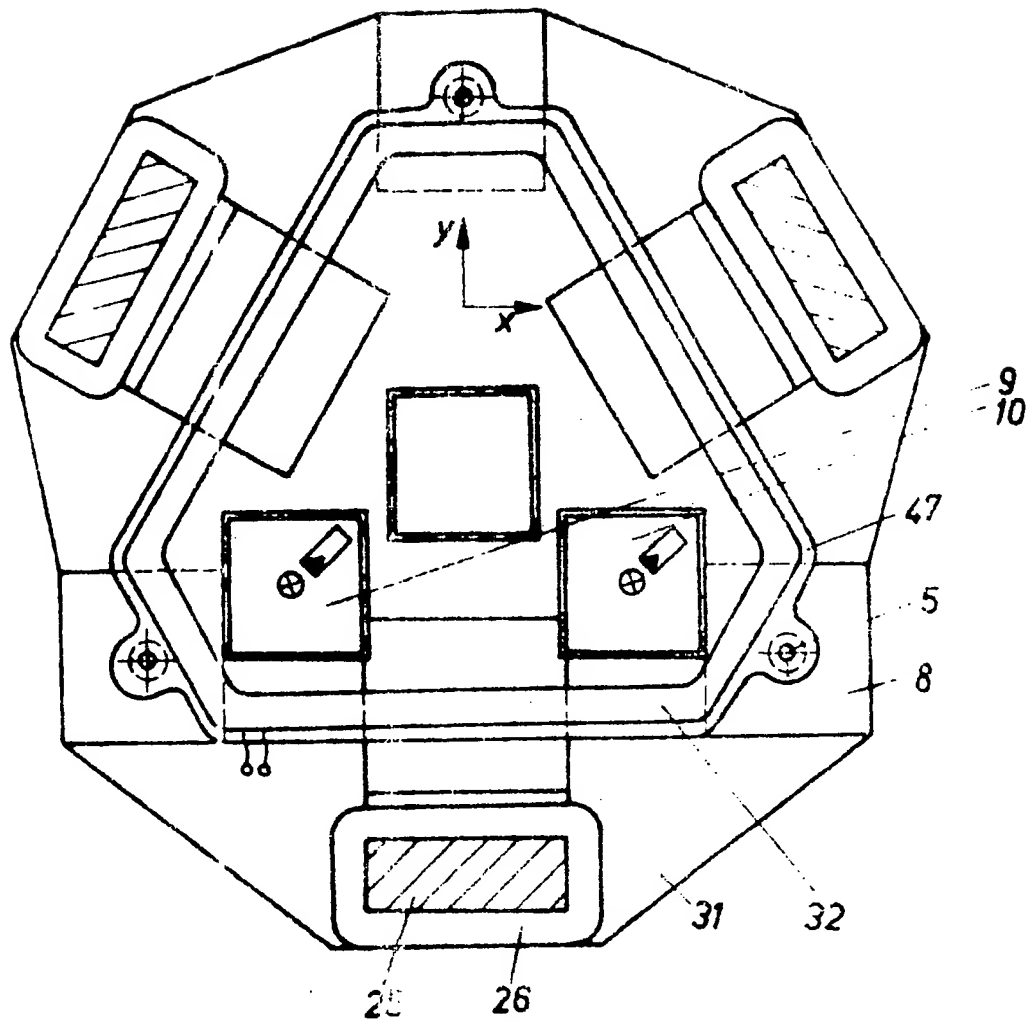
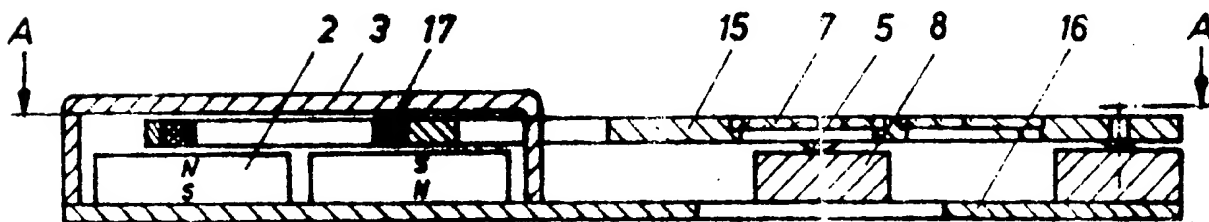
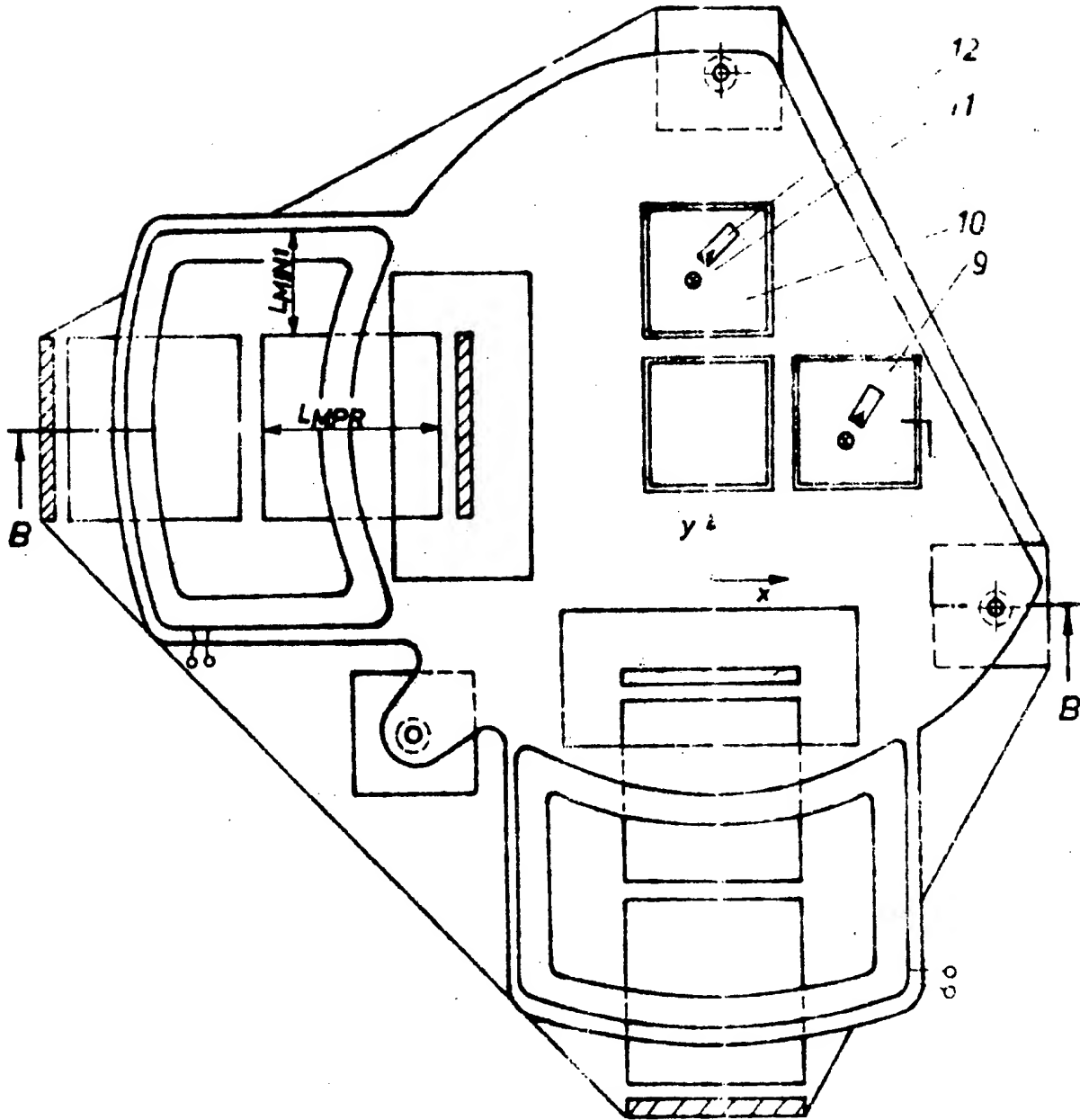


Fig. 14

130018/0681

BAD ORIGINAL

Fig.15



130018/0681

Fig.16

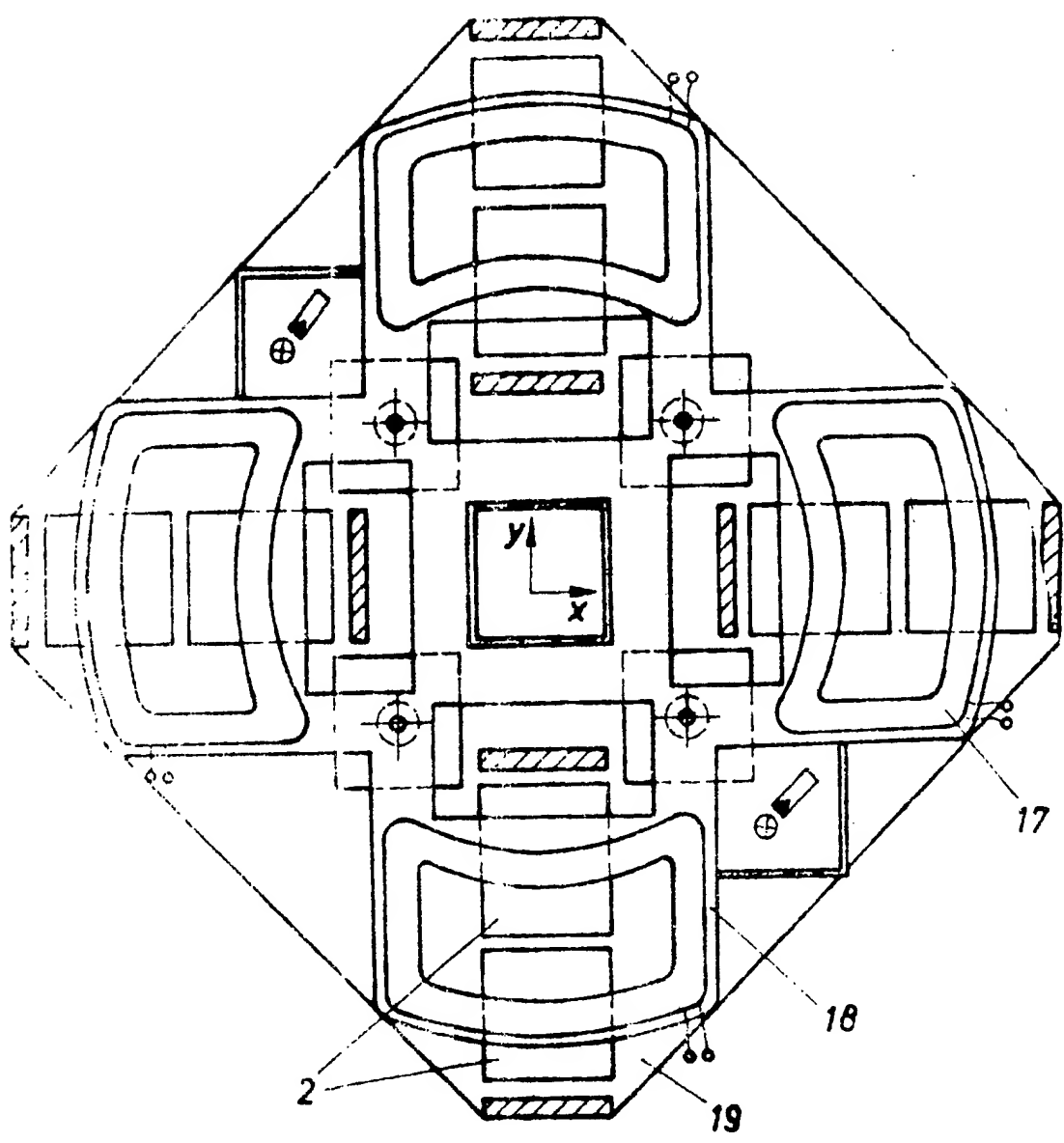


Fig. 17

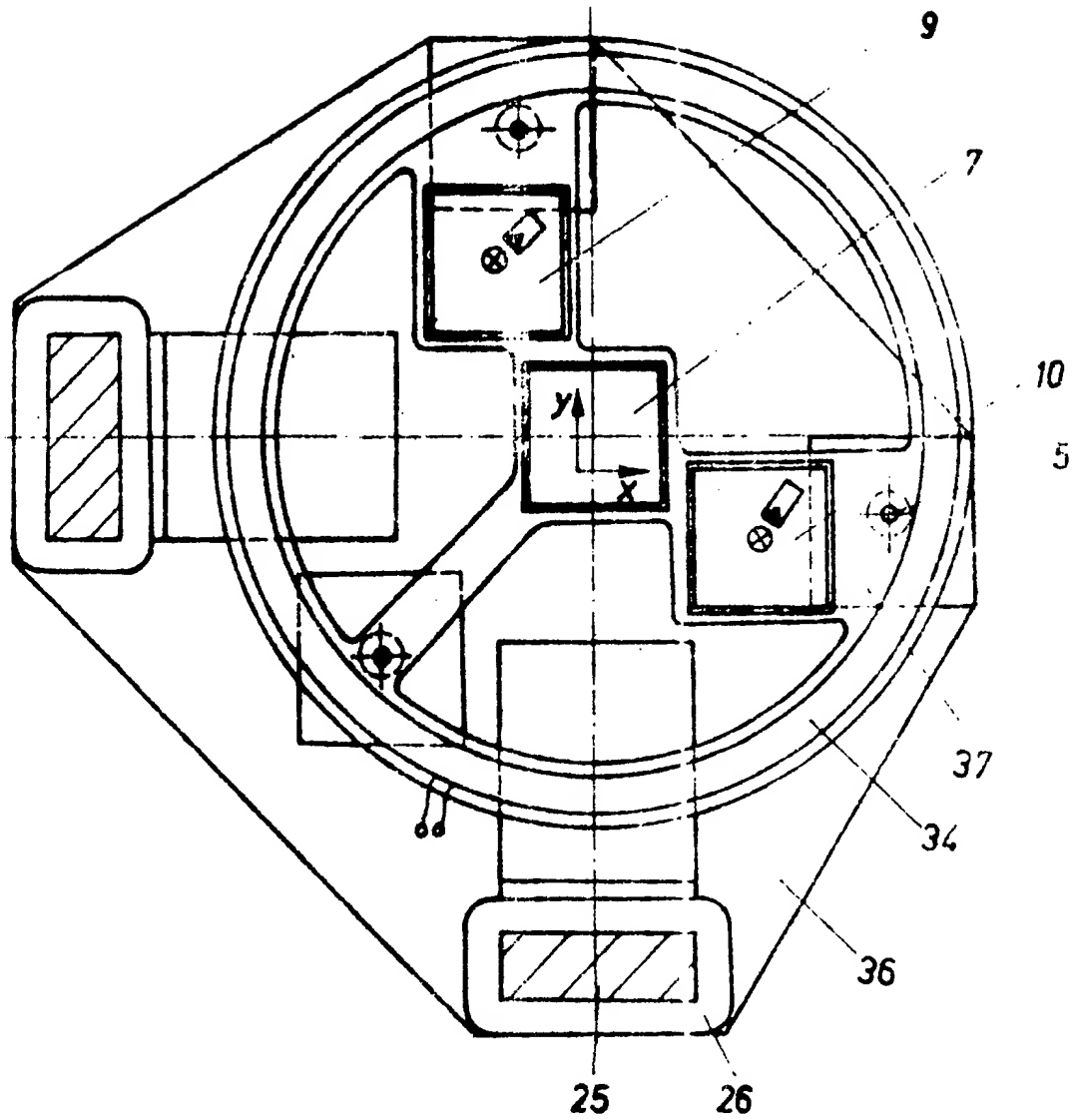


Fig. 18

130018/0681

34

3037648

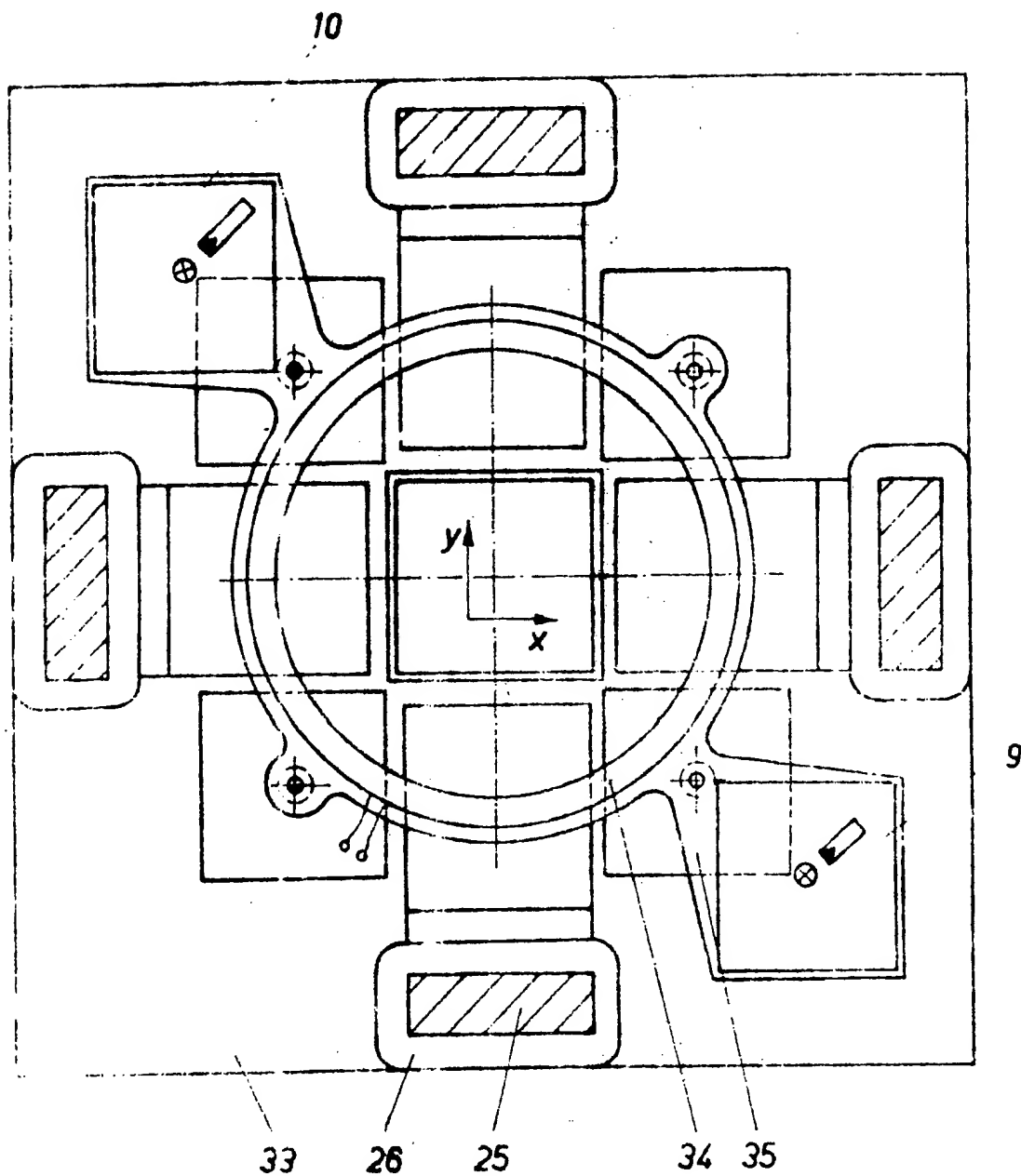
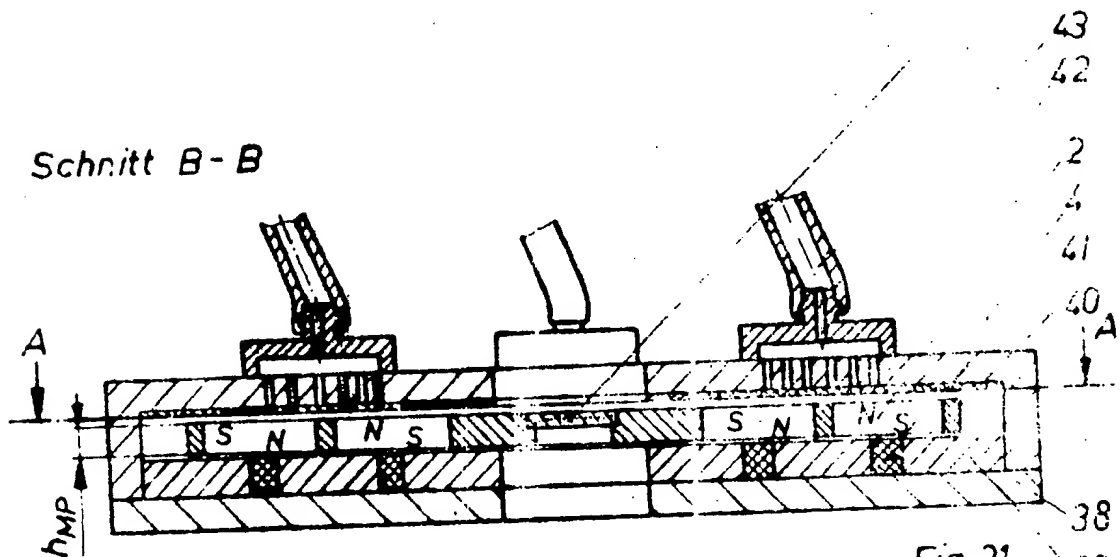
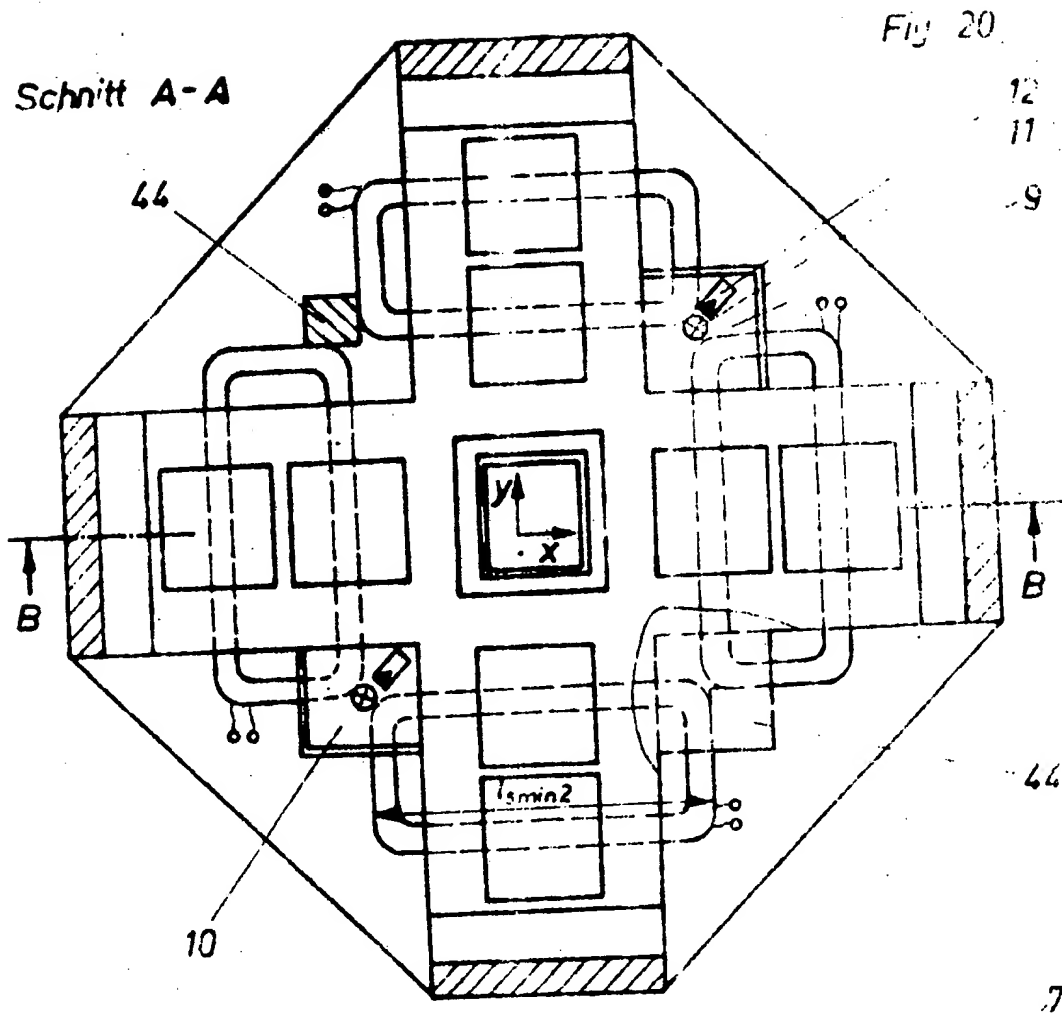


Fig. 19

130018/0681



130018/0684

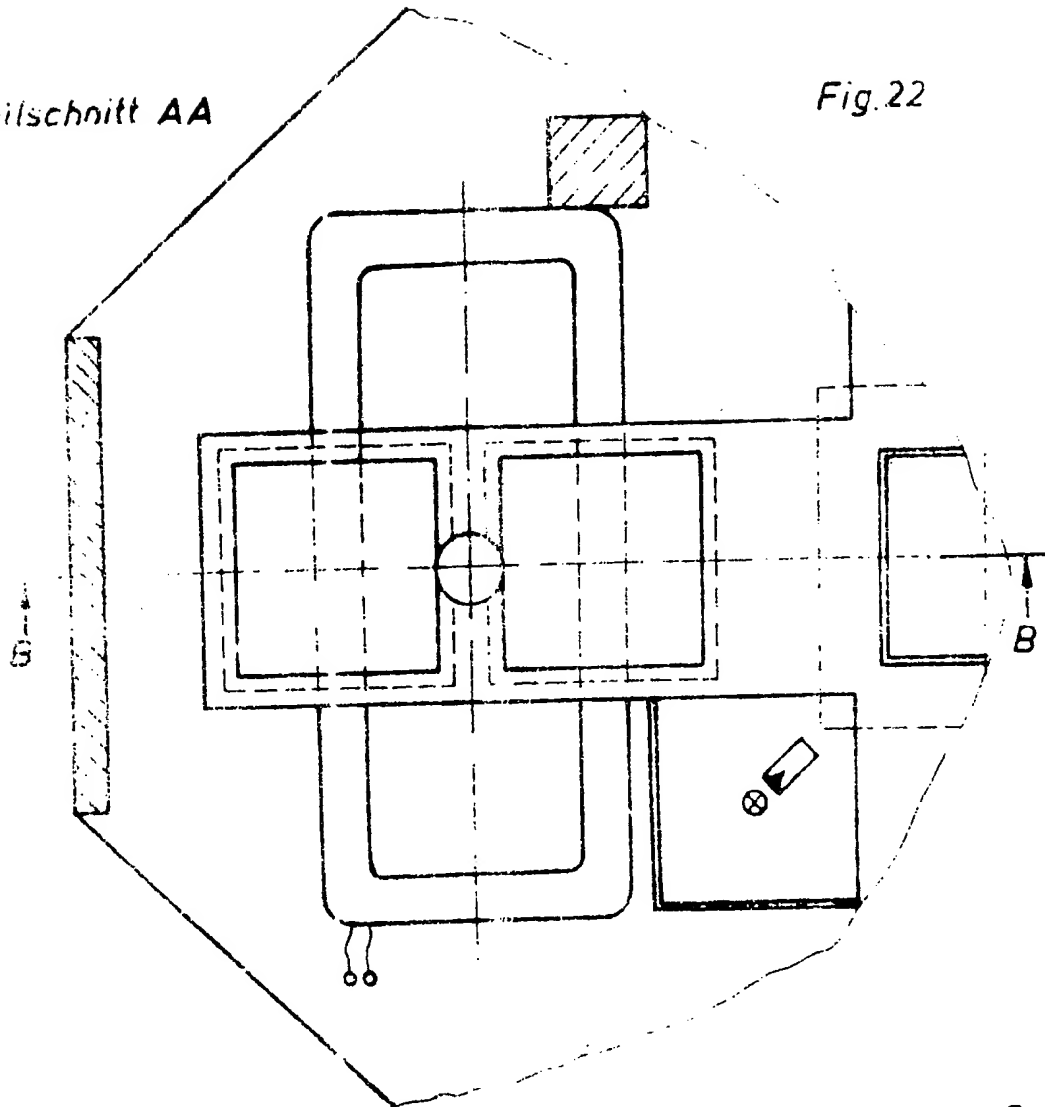
Fig. 21

36.

3037648

Teilschnitt AA

Fig. 22



Teilschnitt BB

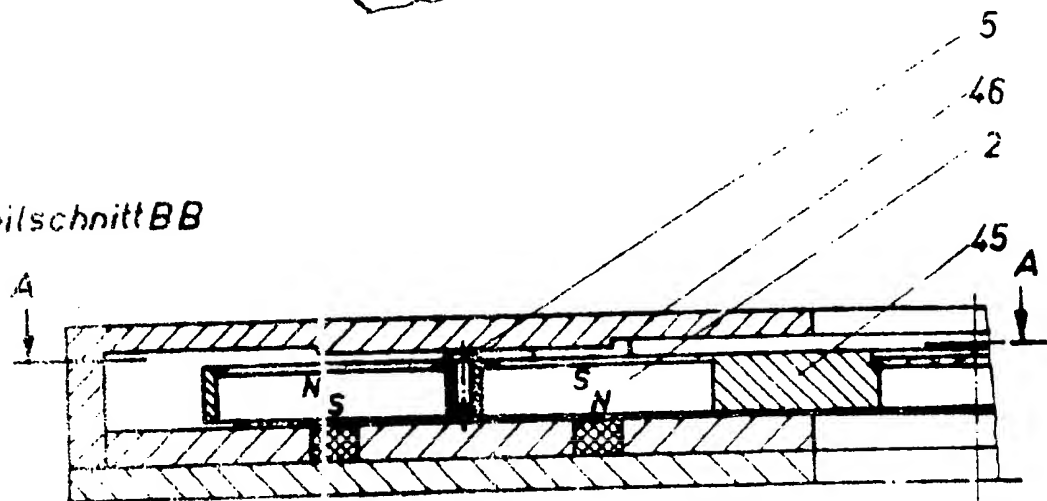


Fig. 23

130018/0681